

メディア解析アプリケーションの 開発を容易化する情報価値創造基盤

河又恒久[†] 有熊威[†] 白石展久[†]
小山和也[†] 奥村明俊^{††}

サイバー・フィジカルシステムでは、センサーやカメラ等から得られた大量の実世界情報から価値ある情報を創出するメディア解析処理技術が重要な役割を果たす。しかし、業務アプリケーション開発者が、メディア解析処理の専門知識なしに、メディア解析アプリケーションを開発するのは困難である。そこで、我々は、メディア解析アプリケーション開発を容易化する情報価値創造基盤を開発した。本基盤では、メディア解析処理をエンジンとしてコンポーネント化し、標準化され、エンジンに非依存な解析データ交換プロトコルを提供した。さらに、ミドルウェアにより解析データ管理をサポートした。本稿では、情報価値創造基盤のアーキテクチャを示し、映像解析エンジンを用いたビル設備管理システムに適用して、開発生産性の向上と実用性能の確保を確認し、本アーキテクチャの有効性を実証した。

Information Value Creation Platform for media analysis applications

Tsunehisa Kawamata[†] Takeshi Arikuma[†]
Nobuhisa Shiraishi[†] Kazuya Koyama[†]
Akitoshi Okumura^{††}

Media analysis technologies which analyze large-scale, heterogeneous data in the real world for creating new information values are the key factor of the cyber physical systems. However, it is difficult for system engineers to develop media analysis applications without detailed expert knowledge on each analysis technology. Therefore, we developed the "Information Value Creation Platform (IVCP)", with which system engineers can develop the media analysis applications more easily. This platform encapsulates the detailed algorithms of the media analysis in the media analysis engine components, provides standardized, engine independent protocol for exchanging the analysis metadata. Furthermore, this platform provides a middleware which stores and manages the metadata. In this paper, we propose the architecture of IVCP and discuss the effects on the development productivity and the performance by evaluating it on the development of the building facility control system.

1. はじめに

近年、映像・音声・センサー・テキストなど、大量の実世界情報をサイバー空間で統合し、新たな情報価値を創造して、社会的な問題を解決するサイバー・フィジカルシステム(CPS)が注目されている[1,2].

CPS では、大量の実世界情報から価値ある情報を創出するメディア解析処理が重要な役割を果たす。例えば、IP カメラで接続された複数の監視カメラ網の映像から高精度に人物を抽出・追跡する人物行動分析技術[3]は、実世界の人物行動をサイバー空間で映像解析することで、テロ行為を未然に発見する等の監視業務支援が可能となる。

しかし、メディア解析処理は専門知識が必要であり、一般的な業務アプリケーション(業務 AP) 開発者がメディア解析 AP を開発することは困難である。また、標準となる AP 開発フレームワークが存在せず、顧客案件毎に個別開発をしており、ソフトウェア開発資産を再利用することも困難であった。

本論文では、ソフトウェア資産を再利用可能にし、一般的な業務 AP 開発者がメディア解析 AP を容易に開発できる基盤(情報価値創造基盤 Information Value Creation Platform : IVCP) を提案し、映像解析を使った実験システムに適用することで、本基盤の有効性を評価した結果を示す。

2. メディア解析 AP 開発に関する課題

従来、業務 AP にメディア解析処理を組み込むには、オープンソースや市販の解析ライブラリを利用するか、画像処理等の低レベルライブラリを使用し独自に解析アルゴリズムを開発することが多い。しかし、メディア解析処理には、メディア毎に理解すべき特有の前提知識が必要であり、メディア解析 AP を開発するには、メディア毎にメディア処理の専門家を必要とする。例えば、映像解析では、ICT スキルの他に、コーデックや配信・編集方式、大量データの解析を高速に行うためのアルゴリズム等多岐にわたる専門家知識が必要である[4].

また、メディア解析 AP に適した開発フレームワークが確立されておらず、案件ごとにメディア解析 AP を個別開発しており、開発したシステムを別の顧客案件に展開することが困難となっている。

以上のように、特定の専門家知識を必要とし、開発資産を再利用しにくいことが、結果としてメディア解析 AP を容易に開発できない要因となっている。

[†] 日本電気株式会社 情報・メディアプロセッシング研究所
NEC Information and Media Processing Laboratories

^{††} NEC 情報システムズ
NEC Informatic Systems, Ltd

2.1 従来技術

UIMA(Unstructured Information Management applications)[5] は、テキスト、音声、映像などの非構造データを分析して構造データ化する解析システムの開発フレームワークである。解析処理を Aggregate Analysis Engine として開発し、Engine のインプットとアウトプットを CAS(Common Analysis Structure)で共通データ化することで、解析コンポーネントの再利用性を向上しており、OASIS で標準化活動を行っている[6]。しかし、サイバー空間での解析処理をコンポーネント化するフレームワークであるため、デバイスから得られた実世界情報との統合、解析結果を利用する AP との統合、複数のエンジンで解析された結果の統合は、AP で開発しなければならない。

映像解析処理をコンポーネント化しクラウドで提供するメディアクラウドサービス[4] も UIMA と同様、映像に特化した解析処理をコンポーネント化するフレームワークを提供している。この基盤においても映像以外のデータ解析との統合処理は、AP での開発を必要とする。

ロボット用ミドルウェア (RT ミドルウェア) [7] は、メディア解析を使ったロボット AP を開発するための基盤である。ロボットに必要な解析処理 (音声認識や画像認識) をコンポーネント化し、ロボット AP を容易に開発できる基盤であり、OMG(Object Management Group)で標準化を進めている。しかし、デバイス (ロボット) で動作する AP の開発基盤であるため、過去データや別センサーのデータを統合解析し、ロボットに結果をフィードバックする等のサイバー空間での解析やその統合は、AP で開発しなければならない。

映像、センサー、テキストなど、大量ヘテロなメディアデータの統合解析処理を AP に統合できる開発基盤が必要である。

3. 情報価値創造基盤(IVCP)の設計

上記課題を踏まえ、IVCP として、メディア解析処理の統合開発を容易化する開発基盤を設計した。その詳細を以下に述べる。

3.1 IVCP のアーキテクチャ

IVCP のアーキテクチャを図 1 に示す。その特長は次のとおり。

- メディア解析処理を解析エンジンとしてコンポーネント化し、専門家知識が必要な解析処理をカプセル化
- AP と解析エンジンで解析データを交換するメタ情報フレームワーク「MAMI(Media Analysis Management Interface)」により解析データ交換プロトコルを標準化し、解析データへのアクセスを統一化

- メディア解析統合に関わる AP 共通処理を解析管理ミドルウェア「ARMOR」として提供し、解析エンジン統合データ交換処理の開発を低減

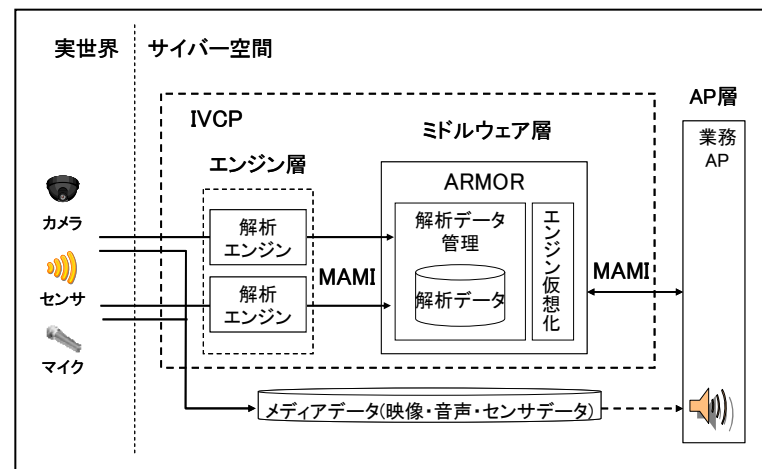


図 1. IVCP のアーキテクチャ

3.2 IVCP の構成要素

(1) 解析エンジン

高度な専門知識が必要なメディア解析処理を解析エンジンとしてコンポーネント化した。解析エンジンは、映像・音声・センサーなどのメディアデータを解析し、解析結果をメタ情報フレームワーク MAMI にしたがって、後述する ARMOR で定義された命令とデータ定義で登録する。

(2) メタ情報フレームワーク MAMI

業務 AP が、エンジンの違いを意識せずと同じインタフェースで解析エンジンを利用できるよう解析データ交換のためのフレームワーク MAMI を定めた。

MAMI は、通信プロトコルとして HTTP(S) を採用し、3 層間で解析エンジンを交換するため、次の 3 種類の情報を定義した (図 2)。

- Operation: 操作対象 (解析エンジン, ミドルウェア, 業務 AP) への命令
- Restriction: 解析データのフィルタリング情報
- Entities: 解析データ実体

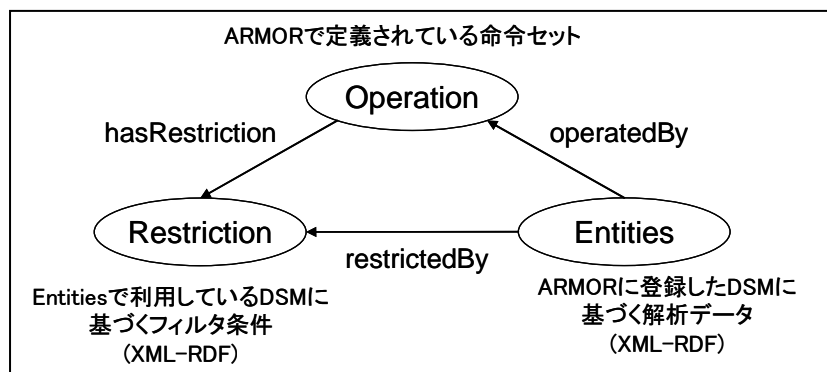


図 2. MAMI

この3種類の情報をフレームワーク化し、任意の業務APと任意の解析エンジン間で解析データを交換できるようにデータ形式にXML RDF(Resource Description Framework)[8]を採用した。また、交換される解析データは、業務APや解析エンジンによって異なるため、解析データの語彙セットを定義するDSM(Domain Specific Model)を用意した。DSMは、MAMIフレームワークのEntitiesで交換されるXML RDFのデータ構造定義である。

MAMIにより、解析データへのアクセス方法を共通化し、命令や解析データを解析エンジンに依存しないよう抽象化した。

業務APで利用できるOperationセットやDSMの語彙セットは、あらかじめARMORで定義することとした。

(3) 解析管理ミドルウェア ARMOR

ARMORでは、解析エンジンを業務APから使うための次の共通機能を提供した。

- 解析データ管理
- エンジン仮想化

解析データ管理は、解析データを蓄積管理する機能であり、その動作概要を図3に示す。

解析データ管理機能は、Operationとして、“Write”（解析データの登録）と“Query”（解析データの検索）、及び“Notify”（解析データの登録通知）を提供する。

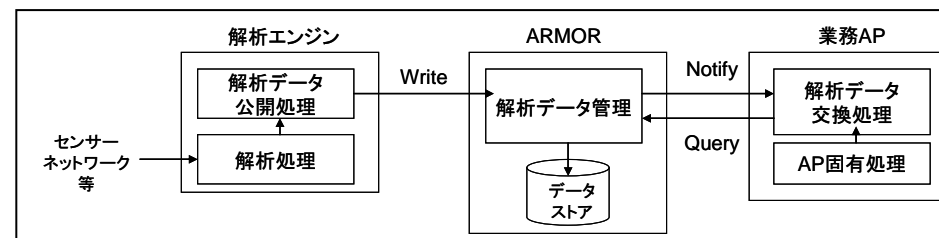


図 3. 解析データ管理機能の動作

解析エンジンは、センサーネットワーク等から得られたメディアデータを解析し、解析データ公開処理で、解析データ管理に、Write 命令で解析結果を登録する。解析データ管理は登録されたデータをデータストアに登録する。

データストアには、DSMで定義したRDFデータのインスタンスを格納する。例えば、映像を解析して人物を発見し、人物属性を解析する場合、人と属性を人DSMとして定義する。解析エンジンは、映像内に人を発見すると、人DSMのインスタンスを生成し、解析された属性を記述して、解析データ管理に登録する。また解析データ管理は、登録されたRDFをそのまま蓄積する。映像内に何千人と写っていた場合は、その数だけDSMのインスタンスが解析データ管理に蓄積されることになる。

業務APが解析データを利用するには、解析データ管理にQuery要求する。Restrictionに検索条件を記述すれば、その条件に合致したDSMのインスタンスをデータストアから検索し、Entitiesを通して結果を取得できる。

さらに、解析データ管理では、イベントドリブンのAPを開発できるように、“Notify”機能を提供した。APがイベント通知を登録しておくと、解析データが登録されたときにNotify命令を通知する。なお、Notifyに対応するには、業務APで、通知を受けたときの処理を開発しておく必要がある。

エンジン仮想化機能は、APの要求したDSMに解析データを変換する機能である。

あらかじめAPが定義したDSMと解析エンジンが定義したDSMとのデータマッピングをエンジン仮想化機能に指定すると、Query命令で検索データを取得するときに、AP定義のDSMにデータを変換する。

DSMは定義された各要素にURIを定義できる。例えば、図4で定義された解析エンジン定義のDSMの各要素にURIを定義する。これに対し、AP定義のDSMで、解析エンジン定義DSMと同じ要素に、同じURIを定義する。例えば、図4では、性別要素をURI4と定義する。

これら二つのDSMをARMORに登録した場合、解析エンジン仮想化機能は、URIを用いた検索を行い、得られた結果をURIマッピングから業務AP定義のDSMへ変換し、解析結

果として業務 AP に送信する。例えば、図 4 で性別="Female" で検索をした場合、解析エンジン定義と業務 AP 定義の両者のデータから URI4="Female" に該当するデータを検索し、業務 AP 定義の DSM データに変換したものが、業務 AP が得られる検索結果となる

これにより、解析エンジンの詳細なデータ構造を知らなくても、解析データを取得できる。また、解析エンジンの DSM が変更されても、業務 AP を変更する必要はない。

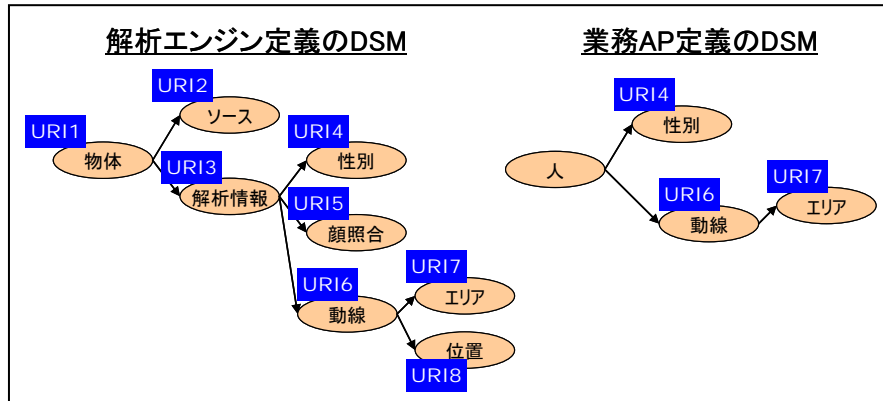


図 4. 解析エンジン仮想化機能に登録する DSM 例

4. IVCP の省電力制御システムへの適用と評価

4.1 評価システムの概要

CPS として実用的に期待されているサービスとして、金融、交通、エネルギー、環境など多様な分野が挙げられる。今回は、その中で最近注目されているエネルギー制御に着目し、低コストでのシステム実現が有効なオフィスの消費電力制御を目的とした「オフィス省エネ制御サービス」システムに IVCP を適用し、有効性評価を行った。

具体的には、フロア内に設置されている監視カメラとオフィス在籍者が携帯している RFID タグにより、監視映像と、RFID リーダーから得られたセンサー情報を解析することで、フロア内の人の位置を把握して、照明・空調・PC を制御することで、オフィスの節電効果を狙ったシステムである。

4.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図 5 に示す。詳細を以下に述べる。

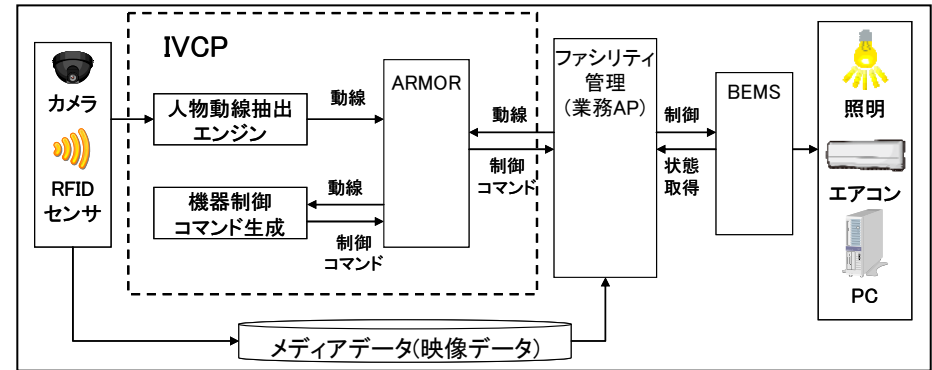


図 5. オフィス省エネ制御サービスの構成

(1) 人物動線抽出エンジン

人物動線抽出エンジンは、監視カメラ映像と RFID リーダーの情報から人物の位置を解析し、その動きを人物の動線として抽出するエンジンであり、図 6 に示す DSM を ARMOR に登録する。

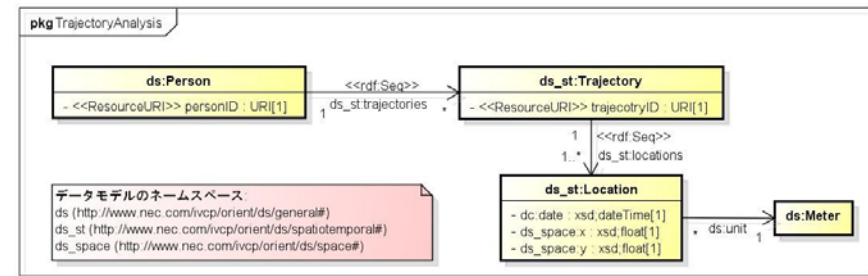


図 6. 人物動線抽出エンジンが利用する DSM 定義

この DSM は、動線(Trajectory)として時系列に連なるフロアの座標位置(Location)の集合として記述され、人物(Person)に対応付けるものである。

本エンジン、及びデータ構造は、本サービス以外にも人物動線を利用したサービスで利用可能である。

(2) 機器制御コマンド生成

人物動線から機器制御のためのコマンドを生成するエンジンであり、図 7 に示す

DSM を ARMOR に登録する。ARMOR から動線情報は Notify で受け取る。

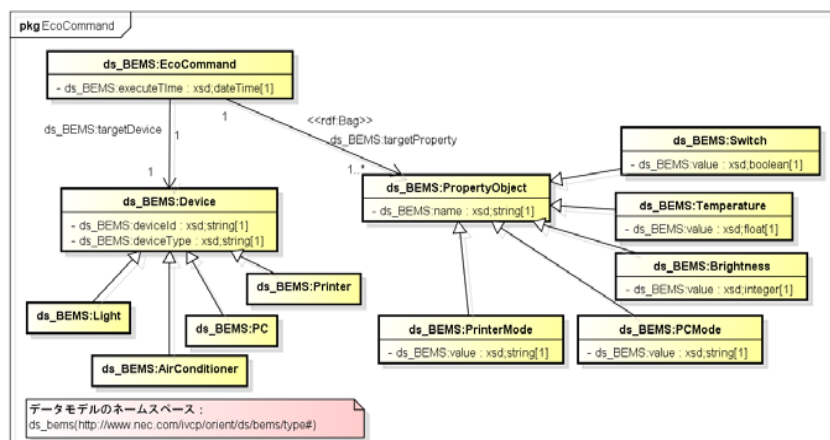


図 7. 機器制御コマンド生成が利用する DSM 定義

ファシリティ制御コマンド(EcoCommand)は、照明などの On/Off 制御や明るさ調整などを行う設備制御コマンドを表現するデータである。制御対象となる機器を抽象化したクラスである「Device」と、機器に対する制御パラメータを抽象化したクラスである「PropertyObject」を定義し、両者を組み合わせて、「EcoCommand」を定義した。

(3) ARMOR

ARMOR は、Java サブレットとして開発した。

XML RDF の処理系として Semantic Web のフレームワーク Jena[9]を利用した。また、解析データは大量だが、更新がなく、データ量に対して検索時間が一定にすることが必要であると考え、解析データをテキスト形式で管理し、検索のために Lucene[10]を利用した。

各エンジンや業務 AP は、MAMI の要求を ARMOR に HTTP(S) POST で要求し、その結果を MAMI のデータで取得できるようにした。

(4) ファシリティ管理（業務 AP）

ファシリティ管理は、ARMOR の動線情報と機器制御コマンド情報から、現状の機器状態と比べて、機器制御が必要なファシリティの制御情報を生成し、ファシリティを制御する。このとき、対象とする BEMS(Building Energy Management System)にあわ

せて制御コマンド変換を行う。実験対象オフィスで使われていた BEMS では、BACNet プロトコルを使用しているため、制御情報を BACNet で交換した。

また、ファシリティ管理は、フロア内の人物やファシリティ情報を把握し表示する、見える化機能も提供している。画面例を図 8 に示す。

見える化機能は、ARMOR から受け取った動線情報と BEMS から得られた機器制御状態情報を監視コンソールである UI 上に表示する。



図 8. 見える化機能画面例

4.3 実証実験

執務フロアの一角にカメラを設置し、本システムを動作させた（図 9）。対象人数などの実験詳細は表 1 のとおり。また、日別の MAMI による交換データ量を図 10 に示す。

表 1. 実験詳細

実験期間	2010/12/21～2011/2/25
場所	オフィスフロア（約 360 平方メートル）
対象人数	70 人
カメラ台数	12 台

RFID センサー台数	12 台
MAMI による通信回数	総計 896,451 回 人物動線抽出エンジン 852,014 回 ファシリティ制御 AP 44,437 回 1 回あたりのデータ量 13.2KB
MAMI による交換データ量	総計 11,284,249 Entities 人物 5,560,982 Entities 動線 5,578,475 Entities 制御コマンド 144,792 Entities ピーク時 4570 Entities/分 12/28 9:24 (1 秒当たり 76.1 Entities)
ARMOR サーバ	1 台 (2CPU/8 コア, 144GB メモリ)

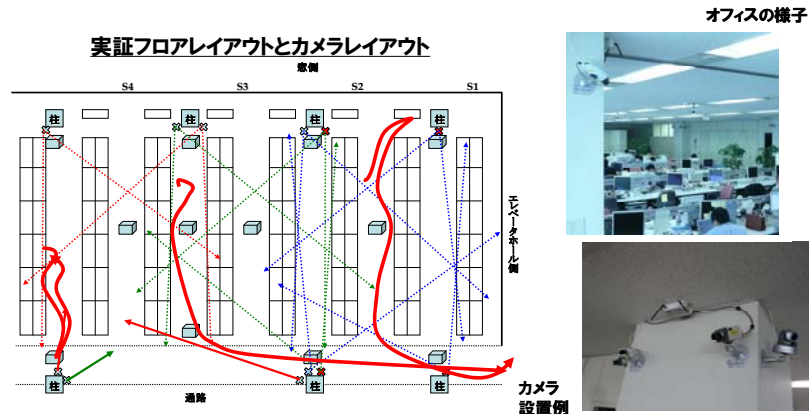
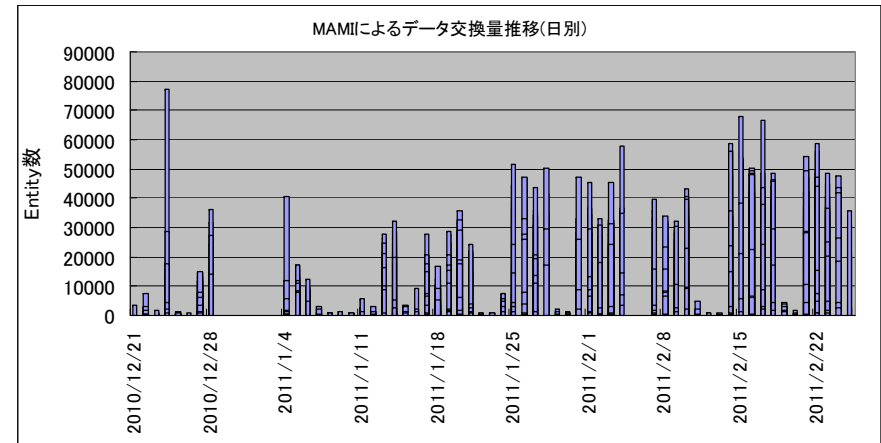


図 9. 実験風景

図 10. 日別の MAMI によるデータ交換量 (Entity 数)

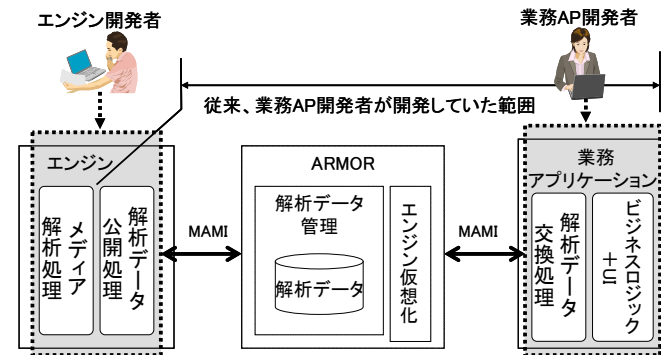


図 11. メディア解析エンジンを使った業務 AP の開発モデル

4.4 評価と考察

本実証実験では、開発容易化の指標としての開発生産性を評価した。また、実行基盤の実用性として、性能評価の指標を明確化し、実際に性能を評価した。

(1) 開発生産性

メディア解析エンジンを使った業務 AP の開発モデルを図 11 に示す。

同一アーキテクチャで業務 AP を開発した場合、IVCP を利用前と利用後の開発内容は表 2 のとおりである。

表 2. IVCP 利用前後の開発内容比較

項目		利用前		利用後	
		エンジン 開発者	AP 開発者	エンジン 開発者	AP 開発者
人物動 線抽出	メディア解析処理	要		要	
	解析データ公開処 理		要	要	
機器制 御コマ ンド生 成	メディア解析処理	要		要	
	解析データ公開処 理		要	要	
ARMOR	解析データ管理		要		
	エンジン仮想化	N/A	N/A		
ファシリ ティ管 理 AP	解析データ交換処 理		要		要
	業務ロジック(UI含 む)		要		要

業務 AP 開発者は、IVCP 利用前は、メディア解析処理以外はすべてアプリ開発者が開発しなければならなかった。一方 IVCP 利用後は、UI 含む業務ロジックを除けば、解析データ交換処理のみを開発すればよく、解析エンジン自体の知識の取得や、解析データ管理の処理が不要になったため、開発が容易になったといえる。今回の実験では、実際に、解析エンジンと業務 AP を IVCP のアーキテクチャに従って開発し、ARMOR によって統合して、サービスを実用的に運用できたことから、IVCP により、解析エンジンを統合した業務 AP の開発を最小化することができた。

一方、メディア解析処理の専門家であるエンジン開発者は、従来はメディア解析処理を業務 AP 開発者に提供していたが、解析データ公開処理を新たに開発する必要がある。この分の開発が増加することになる。さらに、MAMI で交換するデータ形式を XML RDF ベースとしたため、新たに RDF の概念を覚え、RDF を扱う処理を開発する必要があるため、エンジン開発者にとって、コンポーネント化のハードルが高くなってしまった。実際に解析エンジン開発者は、コーディングのみならずデバッグ等に時間がかかってしまっていた。

ただ、一度、エンジン開発者が、解析エンジンをコンポーネント化すれば、次のようなメリットを得られることがわかった。

- 解析エンジンの再利用性向上
一度開発したエンジンを別のサービスや顧客案件で再利用することが容易になった。例えば、人物動線抽出エンジンは、映像監視、店舗内マーケティングなど、他のサービスに利用可能となり、実際に、同じエンジンを業務改善分析サービスに適用することができた。

- 解析エンジン変更に対する業務 AP のロバスト性向上
エンジンのチューニングやアルゴリズム改善も、AP に手を入れることなく対応可能となった。例えば、映像や RFID の代わりに、別のセンサーで人物の位置情報を把握できるエンジンを利用することができるようになった。
このように業務 AP は、解析エンジンの統合を極小化することで、メディア解析処理の専門家への依存を最小限にして業務 AP を開発できるようになった。

(2) 実行基盤としての性能

今回評価した AP は、解析エンジンにより解析した結果（人物動線抽出と機器制御コマンド）をファシリティ管理 AP に高速に提供できることが重要である。今回の ARMOR では、Notify 命令でサービスを実行したため、Notify 命令の処理時間を評価した。

(2-1) Notify 処理の性能特性

実験サーバで Notify 処理時間を計測した結果、1 秒間に処理できる Entity 数は 1200 であることがわかった。実験前の想定では、対象人数 80 人、動線のサンプリングを 1/10 秒ごとと定義し、最大 1 秒間に 800 の Entity を処理できる能力があればよいため、実証実験には問題ないと考えた。

また、通知データ量（書込み Entity 数）に対して、処理時間が、線形に増加していることがわかった（図 12）。RDF を採用したことにより、MAMI メッセージのパーズ、シリアライズ等の処理時間が通知データ数に対して線形増加することが理由である。

(2-2) 性能評価

表 1 で示したとおり、今回の実験において、800 Entities/秒の最大処理予想に対して、76 Entities/秒であり、実用上問題ない性能であることがわかった。70 人の在籍であったことから、1 秒間に在籍人数×1 Entity 強の解析データ処理が実用的な性能要件であったことがわかった。

今後、対象人数の拡大等により、解析データ量がさらに大規模化した場合、より多

くのメッセージを通知するために、データ構造の見直しや交換メッセージの軽量化等を図る必要がある。

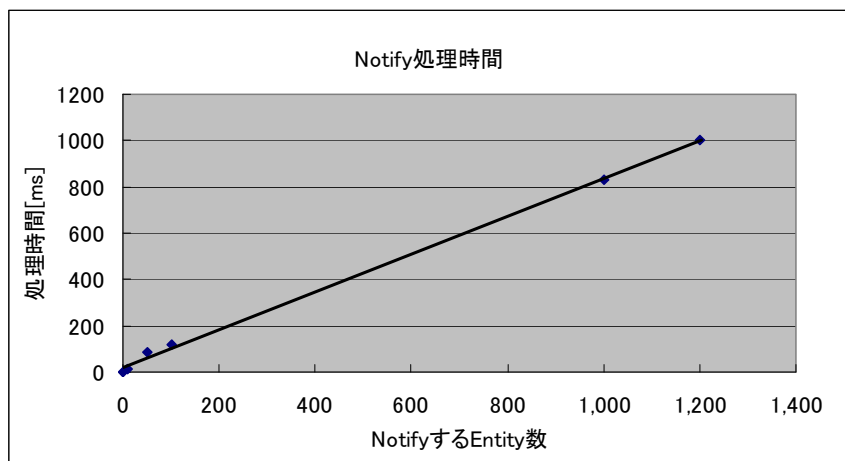


図 12. 実験サーバでの Notify 処理性能

5. おわりに

実用的な CPS を普及させるために、メディア解析処理を利用した業務 AP の開発を容易化する必要があることに着目し、IVCP として、メディア解析機能を統合した AP のアーキテクチャを設計し、AP 開発基盤を開発した。

IVCP を「オフィス省エネ制御サービス」の実験に適用し、解析データ交換処理を開発するだけで、解析エンジンを統合した AP を開発でき、2 ヶ月間、1 千万の解析データを交換するシステムとして問題なく運用できたことを確認した。また、最も高速性が求められる通知処理の実行性能に関して性能特性を明らかにし、実験により、実用上問題ない性能であることを確認した。これにより、設計した IVCP のアーキテクチャが有効であることがわかった。

今後、エンジン開発者に対する生産性向上や、データの大規模化を想定した実行性能の向上により、IVCP を幅広い CPS サービスの開発に活用できるようにし、実用的なメディア解析 AP の拡大につなげていきたい。

謝辞 本活動の一部は、総務省の委託業務「ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業（環境負荷低減に資するサービス普及のための中間及び管理プラットフォームインターフェースの標準化）」プロジェクトの成果である。

参考文献

- 1) Edward A. Lee. : *Cyber Physical Systems: Design Challenges* : 2008 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), pp.363-369(2008)
- 2) 喜連川優: 50 年後の情報社会を支える IT 基盤: 情報処理, Vol.51, No.5, pp 481-486(2010)
- 3) 原田典明,石寺永記,大網亮磨,中尾敏康: “人物行動を把握する画像解析技術と応用例”: NEC 技術報, Vol.63, No.3, pp.39-43(2010)
- 4) 太田健一,久保田博昭,後藤和範: “映像処理とプラットフォームを最適化したメディアクラウドサービス”: FUJITSU, Vol 62, No.3, pp.276-281(05, 2011)
- 5) Gotz,T.and Suhre,O.: *Design and implementation of the UIMA Common Analysis System*, IBM Systems Journal, Vol.43, No.3,pp.476-489(2004)
- 6) OASIS Unstructured Information Management Architecture (UIMA) TC, <http://www.oasis-open.org/committees/uima/>
- 7) Ando, N., et al. : *T-middleware: distributed component middleware for RT (robot technology)*, Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference, pp. 3933-3938(2005).
- 8) Resource Description Framework(RDF), <http://www.w3.org/RDF/>
- 9) Jena - A Semantic Web Framework for Java, <http://jena.sourceforge.net/>
- 10) Apache Lucene, <http://lucene.apache.org/>
- 11) 白石 他., “実世界認識エンジン活用プラットフォームの提案”, 情報処理学会 73 回全国大会 2C-1
- 12) 有熊 他., “実世界認識エンジン活用プラットフォームの試作”, 情報処理学会 73 回全国大会 2C-2
- 13) W3C Media Analysis Management Interface Incubator Group, <http://www.w3.org/2005/Incubator/mami/>